

С344.1Δ

Саитов И.С.

С-149

+

Б4-1876

Б4-1876

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

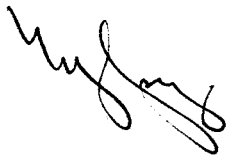
"Утверждаю"

Директор Лаборатории

высоких энергий

"26" июля 1964 г.

Б4-1876



И.С.Самтов, Е.П.Устенко, Ю.А.Широв

"Расчет некоторых параметров надувного элемента системы
уплотнения стенок больших водородных пузырьковых камер
ЛВЭ ОИЯИ".

~~_____~~

Начальник научно-экспериментального
отдела

 /М.В.Чувпко/

Руководитель группы

 /Г.М.Станков/

Руководитель работ

 /Р.М.Лебедев/

Дубна

с. 90. 827

Расчёт некоторых параметров

надувного элемента системы уплотнения стёкол больших водородных пузырьковых камер ЛВЭ ОИЯИ.

Система уплотнения стёкол метровой и двухметровой водородных пузырьковых камер ЛВЭ /рис.1 / ~~система~~ которая описана в [1], включает в себя гибкий надувной элемент, в сечении имеющий вид, изображенный на рис.2.

I. Выбор толщины стенок и радиуса трубок надувного элемента.

Выбор радиуса R и толщины δ стенки трубок надувного элемента проводился расчётным путём и в случае метровой камеры проверялся экспериментально.

Напряжения в стенках элемента являются результатом внутреннего давления в нём и деформации контура его сечения. Расчёт проводился для такой последовательности операций, которая позволяет получить максимальный рабочий ход надувного элемента. В этом случае при сборке камеры надувной элемент подвергается максимально допустимому для комнатной температуры упругому сжатию, причем индиевые прокладки почти не сминаются благодаря малой жесткости надувного элемента. Затем, после охлаждения до рабочей температуры, в надувной элемент подается давление, под действием которого происходит деформация в обратном направлении, до тех пор, пока напряжения в стенках трубок не достигнут предельно допустимых для рабочей температуры значений.

Для простоты рассматривалась бесшовная прямая двухканальная труба с жесткими плоскими частями, сминающаяся под действием внутреннего давления три слоя индиевых прокладок. Четвертым слоем, расположенным "над стеклом" /см.рис.1/ можно пренебречь, т.к. допустимо соответствующее предварительное его смятие / подробнее см. ниже /. Кроме того, не учитывались жесткость надувного элемента относительно взаимного перемещения его плоских частей в вертикальном направлении ввиду её малости / $\sim 1 \frac{\text{атм}}{\text{мм}}$ / и наличие наружного давления с одной стороны. При вычислении составляющей напряжения, направленной вдоль оси трубки, не учитывалась также площадь сечения плоских частей, т.к. это не сказывается заметным образом на конечном результате ввиду его слабой зависимости от величины этой составляющей в рассмотренном диапазоне R, δ и давления p .

Следует отметить, что принятые в расчете упрощения не вносят существенных ошибок в конечный результат и, конечно, в ещё меньшей степени сказываются при сравнении различных значений параметров R и δ .

Расчет заключался в решении уравнения $H(p) = D_k(p) + D_g(p) / 1$. Рассмотрим функции, входящие в это уравнение.

1/ функция $H(p)$ есть величина суммарного смятия 3х слоёв индиевых прокладок в зависимости от давления внутри надувного элемента.

$H(p) = 3h(p)$, где $h(p)$ - соответствующая величина для одного слоя.

Для $j = \frac{\pi d^2}{8[\frac{1}{2}d - h(p)]} \geq d$, где $d = 3,0\text{мм}$ - диаметр прокладки, а j - ширина смятой прокладки, / см.рис. 3 /

$h(p) = \frac{d}{2} - \frac{\pi d^2}{8j} = \frac{d}{2} - \frac{\pi d^2}{8} \cdot \frac{2 \sigma_n}{d p}$,
где a - расстояние между осями трубок,

$\sigma_{\eta} = 300 \text{ кг/см}^2$ - предел текучести индия при температуре жидкого водорода [2]

Для $s \leq d$ $h(p)$ определяется приближенно, как

$h(p) = \frac{d}{2} - \frac{\pi d^2}{8} \cdot \frac{2}{s+d}$ в предположении, что полукруг при смятии деформируется приблизительно в трапецию равной площади / см. рис. 4 /.

Отметим, что большая часть вычислений / за исключением $R = 5 \text{ мм}$ / велась в той области, где $s \geq d$, т.е. в области наиболее точного определения $h(p)$.

Полученные таким образом графики функций $h(p)$ и $H(p)$ для $a = 36 \text{ мм}$ приведены на рис. 5 /кривые А и Б соответственно/. Точки $p = 50 \text{ атм}$ соответствуют $s = d$. Функции $h(p)$ и $H(p)$ для других значений a получаются изменением масштаба по оси абсцисс. Кривые В и Г рис. 5 представляют величину суммарного смятия 4^x слоев индиевых прокладок / включая прокладки "над стеклом", на которые действует также и давление рабочей жидкости внутри камеры размерами $400 \times 1000 \text{ мм}^2$ /, причем кривая В - без предварительного смятия "верхнего" слоя прокладок, а Г - с таким предварительным смятием, которое приводит к появлению дальнейшего смятия этого слоя лишь при давлениях внутри надувного элемента, превышающих 40 атм. Отсюда видно, что без предварительного смятия "верхних" прокладок значительная часть рабочего хода надувного элемента / от 50% до 30% в области рабочих давлений / будет расходоваться на их смятие, что уменьшает кратность герметизации разъемов уплотнения без разборки камеры. Этот слой прокладок разделяет два вакуумных объема и нет необходимости в достижении весьма высокой плотности в этом разьеме за счёт значительной части рабочего хода надувного

элемента / сравним кривые Б и В рис. 5 /.

В расчёте использовалась только кривая Б.

2/ $D_k(0)$ есть величина допустимой полезной деформации /сжатие/ надувного элемента при комнатной температуре и при $p = 0$. Вычисления $D_k(0)$ проводились для случая криволинейного стержня /рис. 6 / в виде полуокружности, один конец которого закреплён, а другой имеет возможность перемещаться под действием силы, приложенной вдоль касательной в этом конце, при условии сохранения направления этой касательной.

Опуская обычные для таких задач выкладки /см., например, [5] /, приведем окончательную формулу для случая круглого кольца с разрезом:

$$D_k(0) = \frac{2\pi\sigma_k}{E} \cdot \frac{R^2}{\delta}, \quad / 2 /$$

где R - средний радиус трубки, δ - её толщина,

$\sigma_k = 20 \text{ кг/мм}^2$ - величина допустимых напряжений для стали 1Х18Н9Т при комнатной температуре, а

$E = 2 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2$ - модуль упругости, который в случае нержавеющей стали мало меняется с понижением температуры [3].

3/ $D_p(p)$ есть величина допустимой полезной деформации надувного элемента при температуре жидкого водорода / 27°К / и при наличии давления p внутри него.

Максимальные напряжения в стенках трубок, обусловленные деформацией надувного элемента, равны $\sigma_{\tau} = \frac{E\delta}{2\pi R^2} D_p(p)$

и направлены вдоль касательной к окружности. Напряжение, обусловленное наличием давления внутри надувного элемента, имеет составляющую, направленную вдоль касательной,

$$\sigma_{\tau} = \frac{R}{\delta} p$$

и составляющую вдоль оси трубки

$$\sigma_{p0} = \frac{1}{2} \frac{R}{\delta} p.$$

Максимальное полное напряжение при водородной температуре

$$\sigma_B = \sqrt{(\sigma_{p\tau} + \sigma_{D\tau})^2 + \sigma_{p_0}^2}$$

$$\sigma_B^2 = \left(\frac{R}{S} p + \frac{E \delta}{2\pi R^2} D_B(p) \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{R}{S} p \right)^2$$

и отсюда

$$D_B(p) = \frac{2\pi}{E} \left[\sqrt{\sigma_B^2 - \left(\frac{pR}{2S} \right)^2} - \frac{pR}{S} \right] \cdot \frac{R^2}{S} \quad 131$$

В предельном случае за величину допустимых напряжений при температуре жидкого водорода принята $\sigma_B = 50 \text{ кг/мм}^2$. Следовательно, соотношение между σ_B и σ_k и пределами текучести для стали 1К18Н9Т при соответствующих температурах [3], обеспечивает примерно полуторакратный запас по пределу текучести.

Решение уравнения 1/ отыскивалось приближенно, графическим способом с точностью 0,5 атм. Найдены два набора решений. Первый набор с $a = 36$ мм находится для R и S в интервале $R = 5 + 17$ мм и $S = 0,5 + 1,0$ мм /табл. I и рис. 7а/. Вторым - с $a = 41$ мм для $R = 11 + 19$ мм и $S = 0,5 + 1,0$ мм /табл. II и рис. 8а/. В табл. I и II и рис. 7б и 8б представлены соответствующие значения $H(p)$. Найденное из уравнения 1/ значение $p = p(R, S)$ является максимальным допустимым рабочим давлением внутри надувного элемента, имеющего данное сочетание R и S . Соответствующее ему $H = H(R, S)$ является максимальным рабочим ходом этого надувного элемента.

При выборе параметров надувных элементов системы уплотнения больших стенок метровой и двухметровой водородных пузырьковых камер ЛВЭ дополнительно учитывались следующие факторы:

максимальная допустимая ширина надувного элемента, обусловленная общей конструкцией камеры, и экспериментально определённая ширина его плоских частей.

Для метровой камеры были выбраны следующие параметры:

$$a = 36 \text{ мм};$$

$$R = 10,6 \text{ мм};$$

$$\delta = 0,8 \text{ мм}.$$

Для двухметровой камеры:

$$a = 41 \text{ мм};$$

$$R = 13,1 \text{ мм};$$

$$\delta = 0,8 \text{ мм}.$$

На выбор $\delta = 0,8$ мм повлияло наличие материала данной толщины.

Величины $p(R, \delta)$ и $H(R, \delta)$, соответствующие выбранным параметрам, отмечены крестиками на рис. 7 и 8. Отсюда видно, что, несмотря на жесткие ограничения в полной ширине сечения надувного элемента, указанные выше параметры обеспечивают вполне удовлетворительные рабочие характеристики надувных элементов.

II Вытесняющие вкладыши.

В случае разрыва надувного элемента возможно попадание гелия, находящегося внутри него, в рабочий объем камеры и значительное повышение давления в ней. Нежелательность такой ситуации очевидна.

Нами рассмотрены два способа уменьшения величины этого скачка давления. Во-первых, можно уменьшить количество гелия, находящегося внутри надувного элемента /рис. 9/, путём вытеснения значительной части этого газа вкладышами /например, из алюминия/. Во-вторых, вместо гелия внутри надувного элемента можно подавать водород. В этом случае жидкий водород, попадающий из надувного элемента внутрь камеры, будет создавать там незначительный скачок давления.

Был проделан расчет зависимости давления в камере при разрыве надувного элемента от начального давления в нём для всех трёх перечисленных вариантов, и результаты приведены на рис. 10а и 10б, где кривые А - для идеального газа без вкладышей, Б - для жидкого водорода без вкладышей, остальные - для идеального газа с вкладышами различных размеров. Параметры сечения надувного элемента указаны выше, а объемы камер 140л и 600л соответственно. Сжимаемость жидкого водорода взята из [4].

Итак, из графиков рис. 10 видно, что, во-первых, для обеих рассмотренных камер разрыв надувного элемента без вкладышей приводит к весьма значительному и потому явно нежелательному скачку давления в камере. Во-вторых, применяя вкладыши, можно существенно снизить величину этого скачка и довести её до 2 + 4 атм, причём рассматриваемый вопрос решается проще для камер больших размеров. В-третьих, с точки зрения минимальной величины скачка давления наибольшего внимания заслу-

живает создание давления внутри надувного элемента при помощи жидкого водорода.

Литература:

- [1] - Лебедев, Сантов, Устенко и Шинов "Конструкция и испытания системы уплотнения стекм метровей и двухметровой жидководородных пузырьковых камер ЛВЭ ОИЯИ" / отчет ЛВЭ ОИЯИ /.
- [2] - Сантов, Устенко и Шинов "Некоторые вопросы изготовления надувного уплотнения больших водородных пузырьковых камер" / отчет ЛВЭ ОИЯИ /, 1964 г.
- [3] - Г.В. Ужик "Пластичность и прочность металлов при низких температурах" АН СССР, 1951 г.
- [4] - J. Amer. Chem. Soc., 1954, №6, p.1485.
- [5] - "Справочник машиностроителя" т.111, стр. 209, Мангиз, 1951 г.

Подписи исполнителей:

Сантов
Устенко
Шинов

/ Сантов /
/ Устенко /
/ Шинов /

25 мая 1964 г.

Таблица I. $a = 36\text{мм}$ Верхнее число - величина ρ_{max} /в атм/,
 являющаяся решением уравнения /1/; среднее - H_{max} /в мм/;
 нижнее - $D_K(\sigma)$ /в мм/.

$R_{\text{mm}} \backslash \delta_{\text{mm}}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
5	49 0,98 0,3	46 0,83 0,25	43 0,70 0,21	41 0,64 0,19	40 0,53 0,17	37 0,51 0,15
7	65 1,30 0,59	59 1,54 0,49	56 1,35 0,42	54 1,20 0,37	51 1,03 0,33	49 0,93 0,29
9	91 2,56 0,97	79 2,34 0,81	73 2,03 0,69	68 1,83 0,61	63 1,72 0,54	60 1,57 0,49
11	120 3,03 1,45	112 2,93 1,21	102 2,77 1,04	92 2,53 0,91	84 2,41 0,81	78 2,22 0,73
13	136 3,19 2,03	137 3,22 1,69	133 3,17 1,45	125 3,09 1,27	116 2,96 1,13	105 2,82 1,01
15	138 3,24 2,70	143 3,32 2,25	152 3,34 1,93	152 3,34 1,69	147 3,29 1,50	140 3,23 1,35
17	127 3,10 3,47	150 3,53 2,39	160 3,40 2,43	165 3,43 2,17	163 3,46 1,93	166 3,45 1,73

Таблица II. $\alpha = 41$ мм. Числа обозначают величины ρ_{max} , H_{max} и $D_k(\sigma)$ аналогично таблице I.

δ_{mm} / R_{mm}	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
11	114 3,13 1,45	105 3,01 1,21	94 2,73 1,04	83 2,63 0,91	76 2,45 0,81	70 2,25 0,73
13	132 3,32 2,03	132 3,32 1,69	126 3,27 1,44	117 3,18 1,27	108 3,04 1,13	98 2,88 1,01
15	136 3,37 2,70	145 3,44 2,25	148 3,45 1,93	146 3,43 1,69	140 3,40 1,50	132 3,32 1,35
17	129 3,30 3,46	147 3,45 2,88	157 3,50 2,47	162 3,52 2,17	164 3,53 1,93	162 3,52 1,73
19	105 3,05 4,33	138 3,37 3,61	157 3,48 3,09	167 3,56 2,71	174 3,60 2,41	177 3,63 2,17

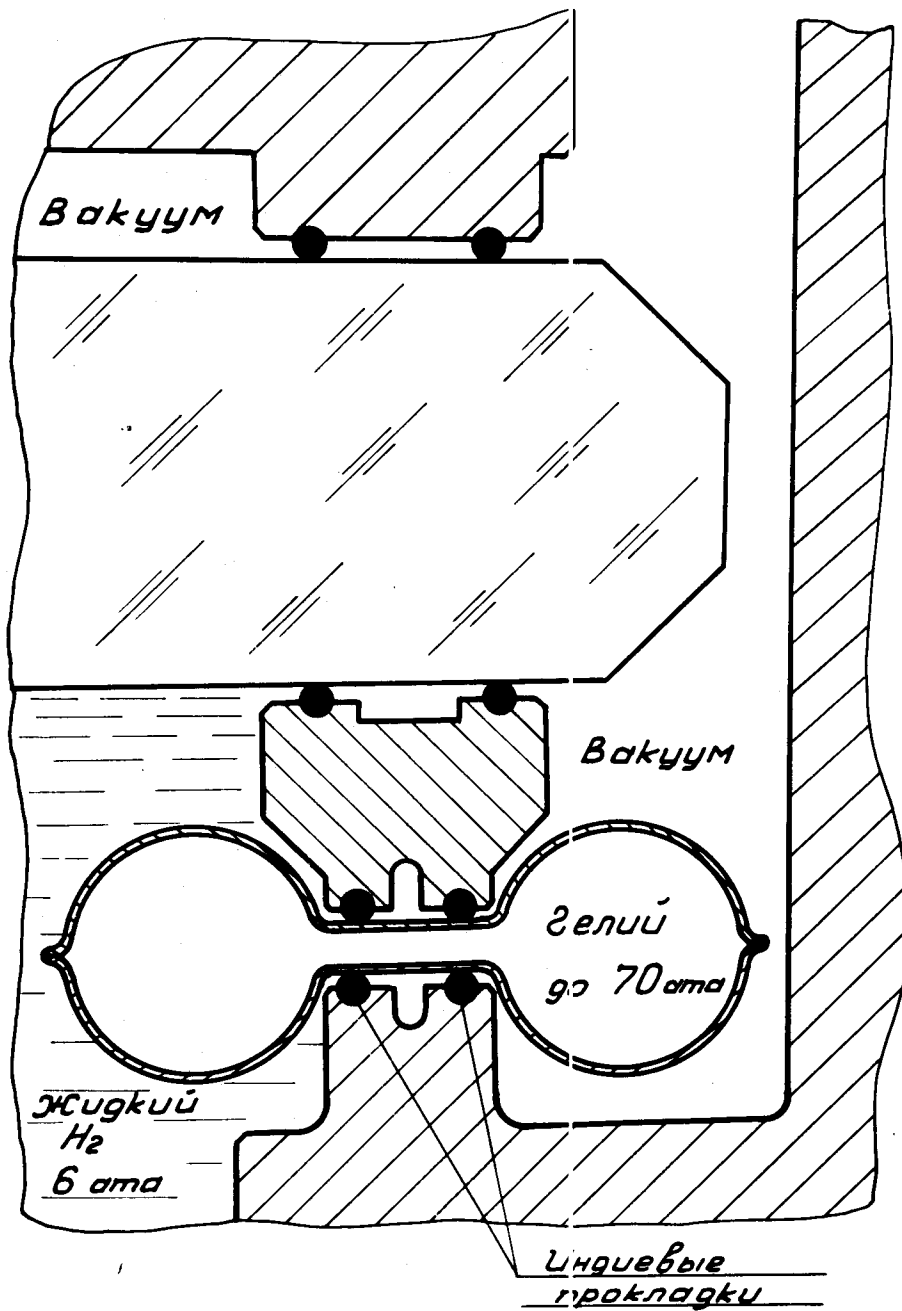


Рис. 1

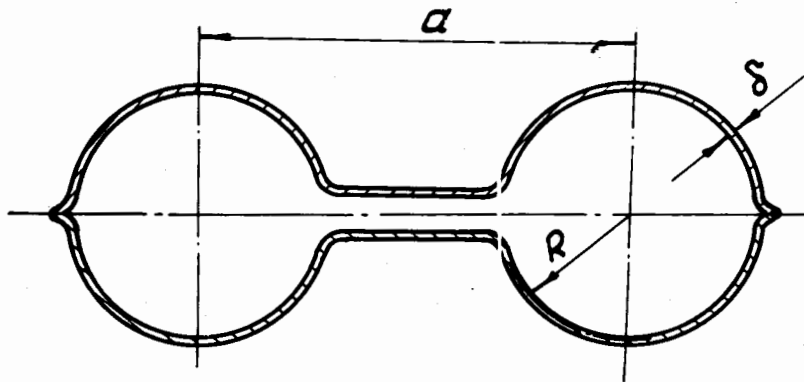


Рис. 2

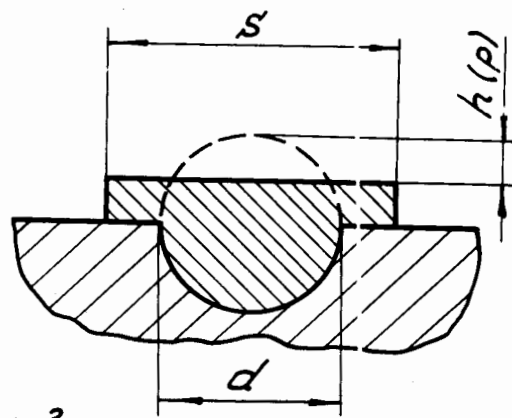


Рис. 3

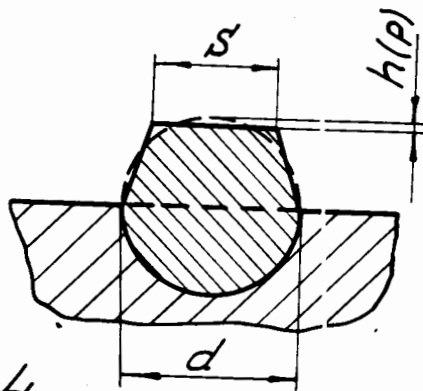


Рис. 4

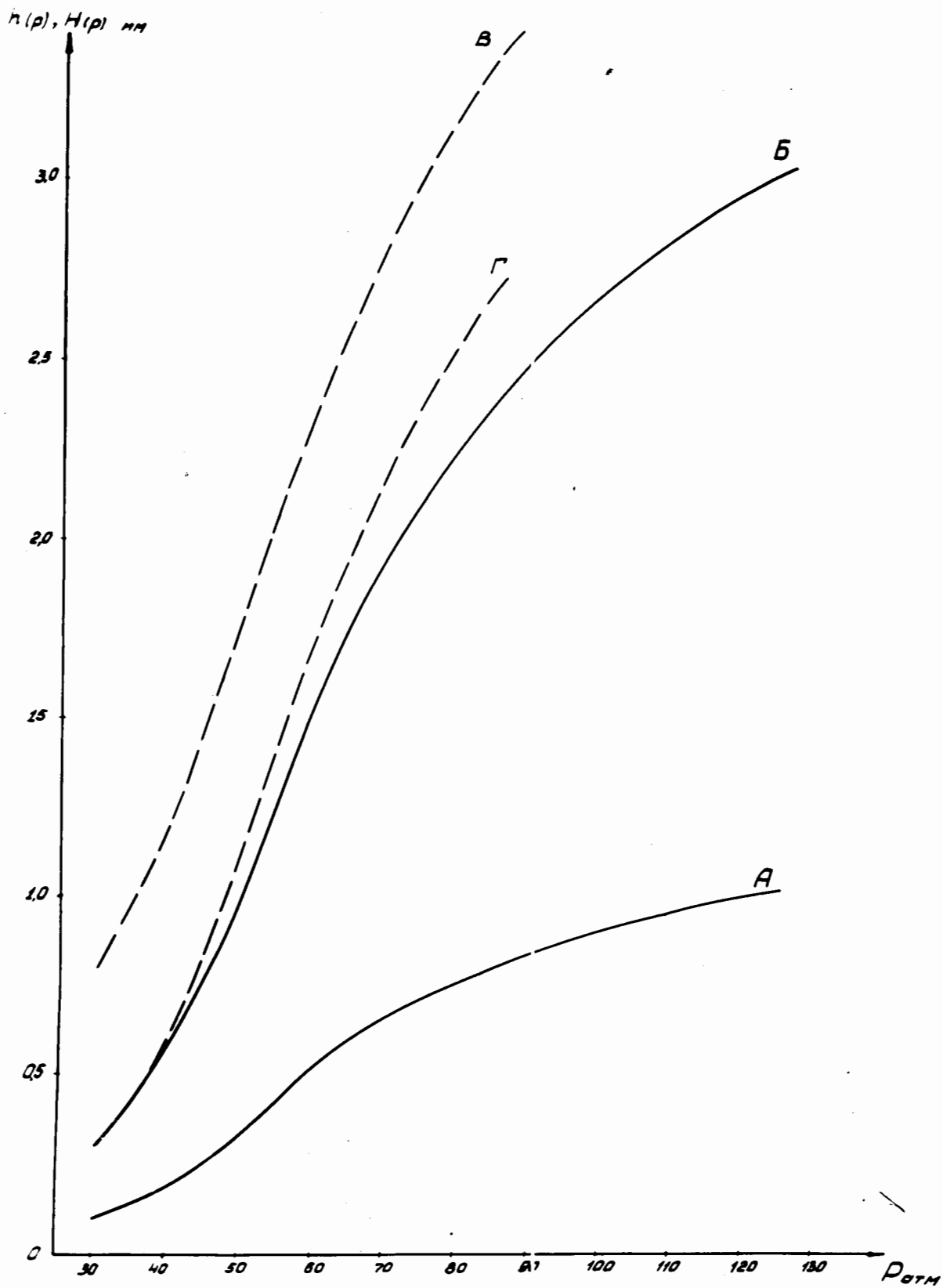


Рис. 5

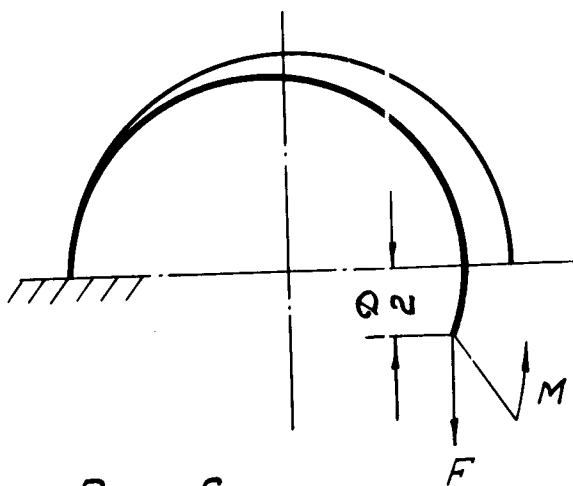
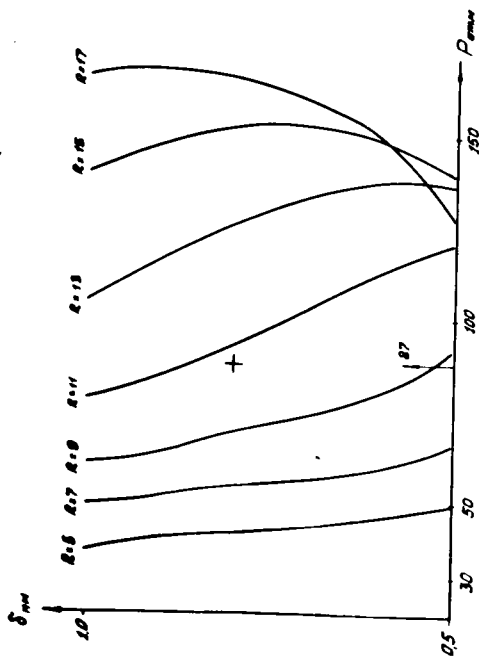
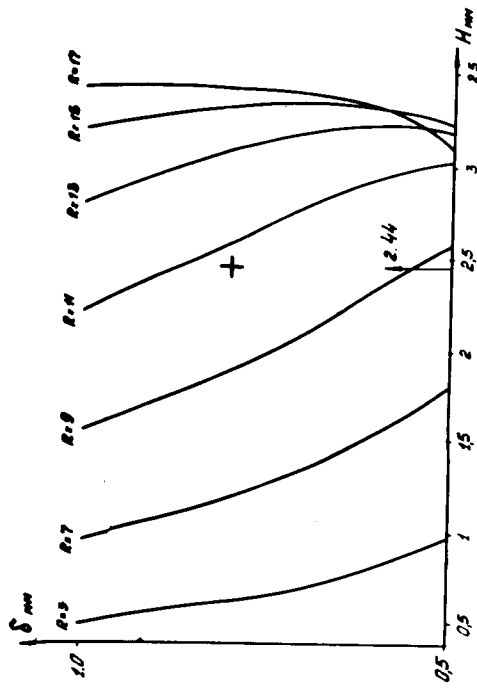


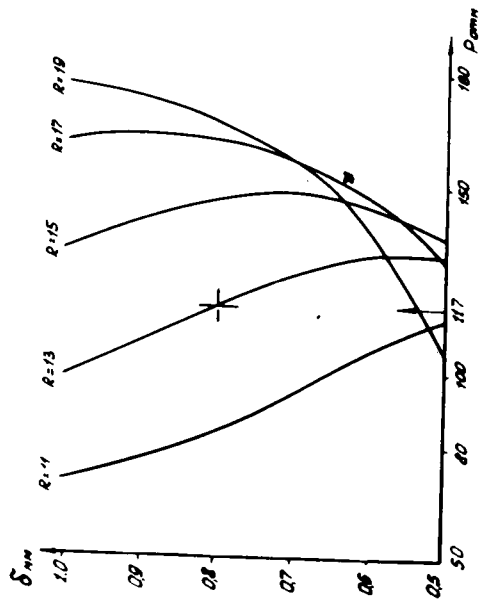
Рис. 6



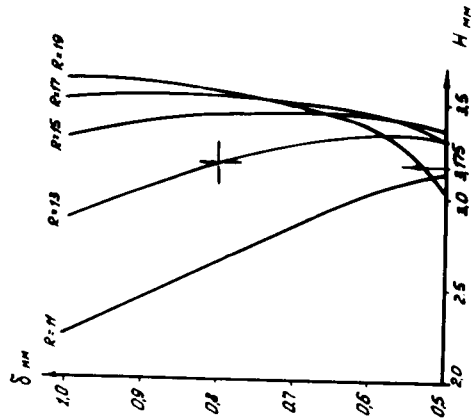
Puc. 7a



Puc. 7b



Puc. 8a



Puc. 8b

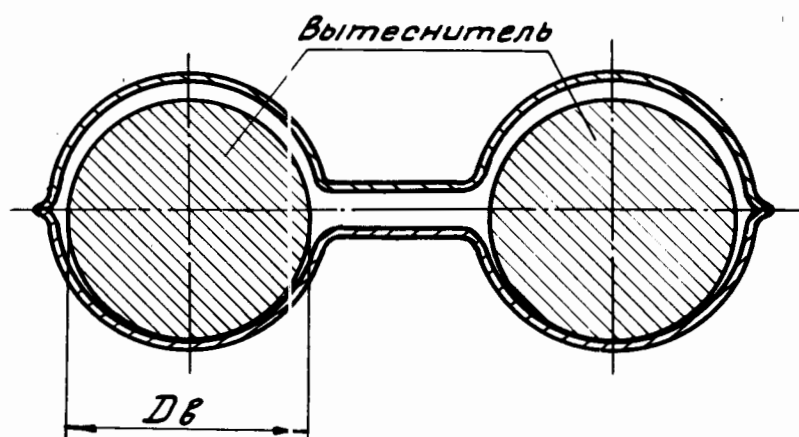


Рис. 9

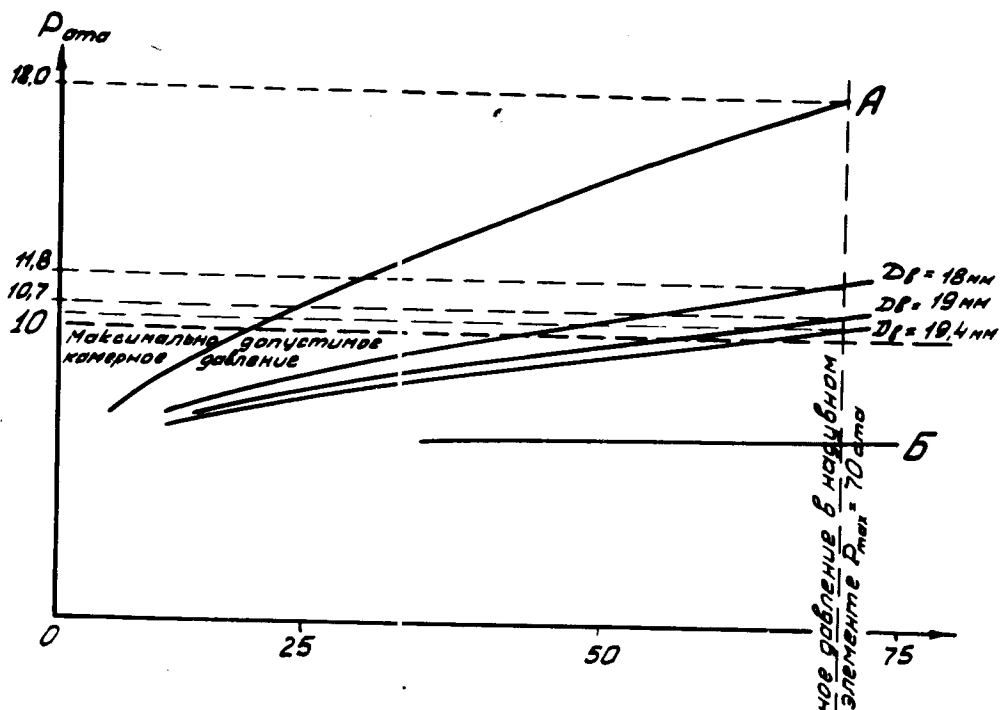


Рис. 10а

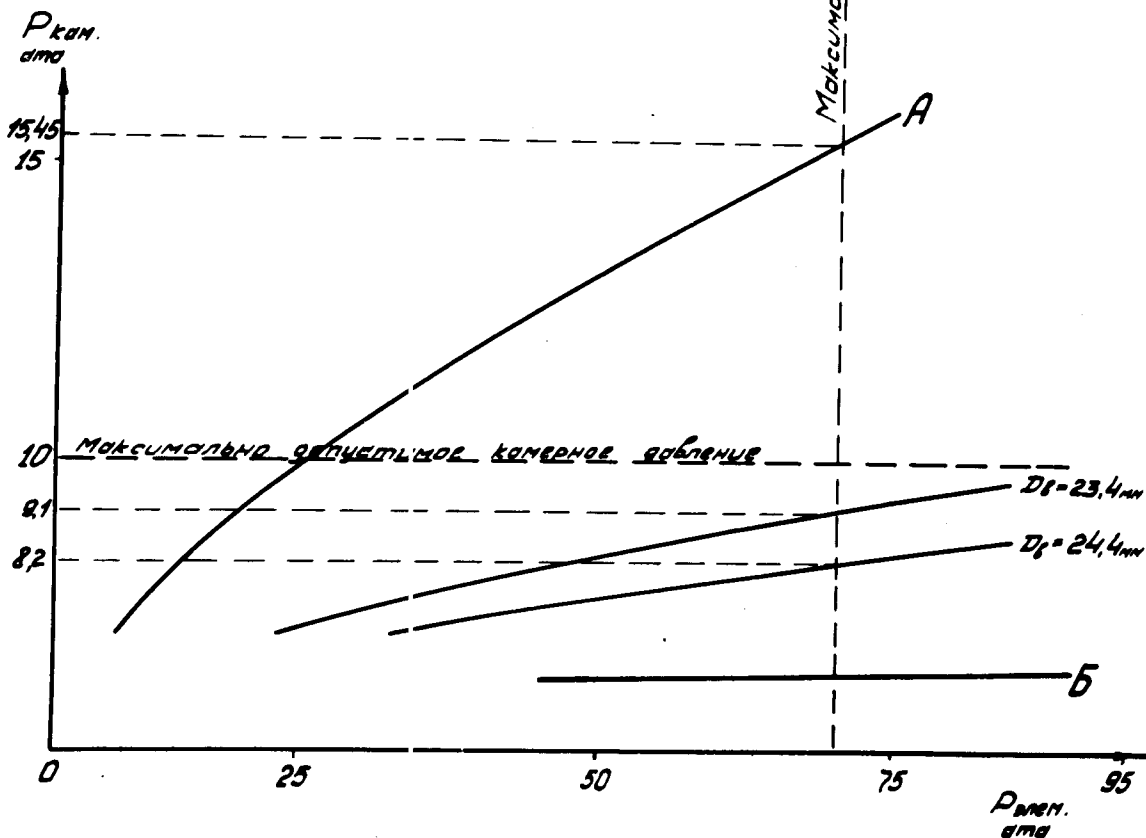


Рис. 10б